

Avaliação Técnica-Econômica das Rotas de Tratamento dos Efluentes de uma Usina de Biogás no Município de Tupandi, Rio Grande do Sul



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Suínos e Aves
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 161

Avaliação Técnica-Econômica das Rotas de Tratamento dos Efluentes de uma Usina de Biogás no Município de Tupandi, Rio Grande do Sul

Marcelo Miele

Márcio Luis Busi da Silva

Rodrigo da Silveira Nicoloso

Juliano Corulli Corrêa

Martha Mayumi Higarashi

Airton Kunz

Ari Jarbas Sandi

Autores

Embrapa Suínos e Aves
Concórdia, SC
2013

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Suínos e Aves

Rodovia BR 153 - KM 110
89.700-000, Concórdia-SC
Caixa Postal 21
Fone: (49) 3441 0400
Fax: (49) 3441 0497
<http://www.cnpsa.embrapa.br>
sac@cnpsa.embrapa.br

Comitê de Publicações da Embrapa Suínos e Aves

Presidente: Luizinho Caron
Secretária: Tânia M.B. Celant
Membros: Gerson N. Scheuermann
Jean C.P.V.B. Souza
Helenice Mazzuco
Nelson Morés
Rejane Schaefer
Suplentes: Mônica C. Ledur
Rodrigo S. Nicoloso

Coordenação editorial: Tânia M.B. Celant

Revisão técnica: Dirceu J.D. Talamini e João D. Henn

Revisão gramatical: Lucas S. Cardoso

Normalização bibliográfica: Claudia A. Arrieche

Editoração eletrônica: Vivian Fracasso

Ilustração da capa: Marina Schmitt

Fotos da capa: Lucas S. Cardoso, Jean C.P.V.B. Souza, Airton Kunz e Alcides Okuno Filho

1ª edição

Versão eletrônica (2013)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Suínos e Aves

Avaliação técnica-econômica das rotas de tratamento dos efluentes de uma
usina de biogás no município de Tupandi, Rio Grande do Sul / Marcelo Miele
[et. al]. - Concórdia : Embrapa Suínos e Aves, 2013.

53 p.; 21 cm. (Documentos / Embrapa Suínos e Aves, ISSN 01016245;
161).

1. Economia. 2. Energia. 3. Materiais residuais. 4. Biogás. 5. Tupandi, RS.
I. Série. II. Embrapa Suínos e Aves. III. Miele, Marcelo. IV. Da Silva, Márcio Luis
Busi. V. Nicoloso, Rodrigo da Silveira. VI. Corrêa, Juliano Corulli. VII.
Higarashi, Martha Mayumi. VIII. Kuns, Airton. IX. Sandi, Ari Jarbas.

CDD. 333.794

Autores

Marcelo Miele

Economista, D. Sc. em Agronegócio, pesquisador da Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC, marcelo.miele@embrapa.br

Marcio Luis Busi da Silva

Biólogo, Ph. D. em Engenharia Ambiental, pesquisador da Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC, marcio.busi@embrapa.br

Rodrigo da Silveira Nicoloso

Engenheiro Agrônomo, D. Sc. em Engenharia Agrícola, pesquisador da Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC, rodrigo.nicoloso@embrapa.br

Juliano Corulli Corrêa

Engenheiro Agrônomo, D. Sc. em Agronomia, pesquisador da Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC, juliano.correa@embrapa.br

Martha Mayumi Higarashi

Química, D. Sc. em Química, pesquisadora da
Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC, martha.
higarashi@embrapa.br

Airton Kunz

Químico Industrial, D.Sc. em Química, pesquisador
da Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC, airton.
kunz@embrapa.br

Ari Jarbas Sandi

Economista, B. Sc. em Gestão Financeira
Empresarial, analista da Embrapa Suínos e Aves,
Concórdia, SC, jarbas.sandi@embrapa.br

Sumário

Avaliação técnica-econômica das rotas de tratamento dos efluentes de uma usina de biogás no município de Tupandi, Rio Grande do Sul.....	7
Introdução e objetivos.....	7
Abrangência do estudo e tecnologias consideradas	11
Metodologia e fontes de dados e informações.....	15
Linha de base para comparar as alternativas: transporte dos efluentes.....	25
Resultados.....	33
Alternativas n.º 1 e n.º 2: transporte e transporte com decanter.....	33
Alternativas n.º 3 e n.º 4: tratamento do efluente com o Sistrates ou equipamento de osmose reversa.....	34
Alternativa n.º 5: fábrica de fertilizantes fluidos.....	40
Análise qualitativa.....	42
Legislação ambiental, repartição de custos e corresponsabilidade	44
Considerações finais e os dilemas do projeto.....	46
Referências bibliográficas.....	49

Avaliação Técnica-Econômica das Rotas de Tratamento dos Efluentes de uma Usina de Biogás no Município de Tupandi, Rio Grande do Sul

Marcelo Miele

Márcio Luis Busi da Silva

Rodrigo da Silveira Nicoloso

Juliano Corulli Corrêa

Martha Mayumi Higarashi

Airton Kunz

Ari Jarbas Sandi

Introdução e objetivo do estudo

A geração de energia a partir da produção de biogás com dejetos animais tem crescido no mundo e no Brasil (DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, 2011; IPEA, 2012), apresentando grande potencial para incrementar a renda e reduzir os custos agropecuários e agroindustriais. Este potencial tem despertado crescente interesse de empresas e instituições do setor de energia (eletricidade e gás) e, também, de fornecedores de máquinas, equipamentos e serviços de consultoria técnica especializada, bem como de instituições de pesquisa, desenvolvimento e inovação. Não menos importante do que as questões econômicas, o uso do biogás surge como uma solução para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) da produção animal. Desta forma, se alinha à agenda governamental para mitigação dos efeitos da atividade agropecuária nas mudanças climáticas¹ e se coloca como alternativa a iniciativas voltadas ao desenvolvimento rural sustentável, atraindo também o interesse de instituições com atuação

¹ Durante a 15ª Conferência das Partes (COP-15) para as negociações globais em mudança climática, o Brasil apresentou as ações nacionais de mitigação, que estabelecem redução de 36,1% a 38,9% das emissões de GEE projetadas para 2020, sendo a agropecuária uma área central deste objetivo.

local, como é o caso das prefeituras municipais e das agências de assistência técnica e extensão rural.

Entretanto, persistem limitações técnicas e econômicas na produção de energia a partir do biogás no Brasil, sobretudo em regiões com elevada concentração de rebanhos (aves, bovinos e suínos) e pouca disponibilidade de área agrícola para a correta reciclagem dos efluentes da biodigestão sem comprometer a qualidade dos recursos hídricos, como é o caso de muitas regiões produtoras no Sul do país.

Nos últimos anos, surgiram inúmeras iniciativas voltadas ao desenvolvimento e implantação de arranjos tecnológicos viáveis para a produção e uso do biogás gerado a partir de dejetos da produção animal. Uma dessas iniciativas é o projeto que prevê a implantação de uma usina central de biogás no município de Tupandi, no Rio Grande do Sul. Participam deste projeto uma empresa do setor de energia, a Eletrosul Centrais Elétricas S.A., a agência alemã de cooperação internacional, Deutsche Gesellschaft fuer Internationale Zusammenarbeit (GIZ) e a Prefeitura Municipal de Tupandi². Na Figura 1 a seguir, apresenta-se a localização prevista do projeto e as características dos solos da região.

O presente estudo prospectivo se propõe a realizar uma análise de viabilidade técnica e econômica das alternativas disponíveis para o correto manejo e disposição final dos efluentes de uma usina central de biogás no município de Tupandi (RS). Sua realização ocorreu no âmbito de contrato de Cooperação Técnica entre Embrapa Suínos e Aves e a GIZ³.

² As páginas eletrônicas destas instituições são: www.eletrosul.gov.br, www.giz.de e www.tupandi.rs.gov.br.

³ Os autores agradecem ao Dr. Karsten Block (mail@karstenblock.de), consultor da GIZ que contribuiu na caracterização dos efluentes e com informações sobre desempenho de alternativas tecnológicas analisadas; e ao Dr. Riolando Cozzo (riolandoconsultoria@gmail.com), consultor externo pela empresa Bunge e especialista em formulações e mercado de fertilizantes que contribuiu na caracterização da fábrica de fertilizantes fluidos.

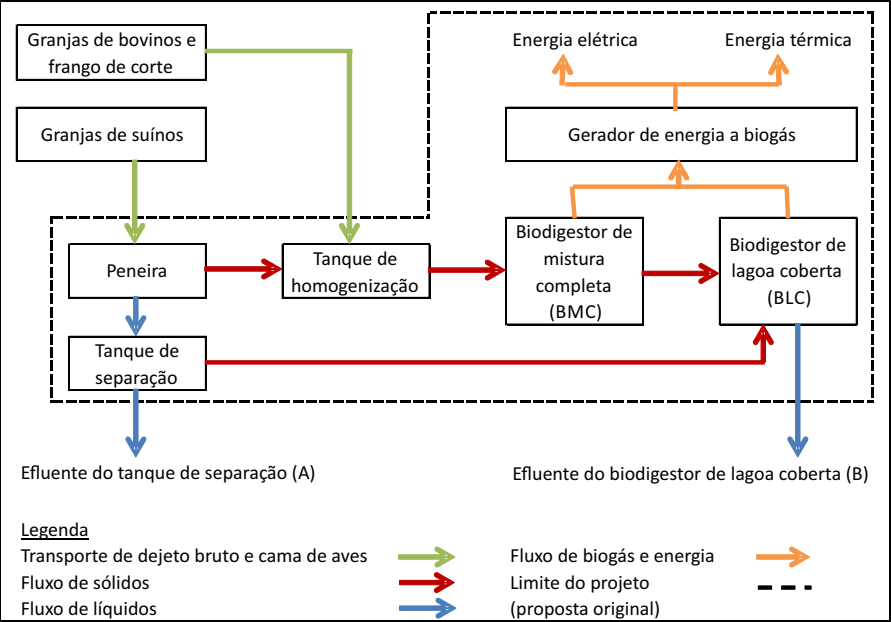


Fonte: elaborado pelos autores a partir de IBGE (2002); Tupandi (2012; 2013) e Google Maps.

Figura 1. Localização de Tupandi (RS) e da área destinada ao projeto, visão panorâmica do município e características dos solos da região

O projeto original prevê a instalação de uma usina central de geração de energias elétrica e térmica com uma potência de 500 kW a 1 MW utilizando o biogás produzido a partir de dejetos do rebanho suíno, bovino e de frango de corte de 78 estabelecimentos agropecuários localizados em Tupandi (BLOCK, 2011; CARVALHO, 2011). O município tem área de 59,5 km² e população de 3,9 mil habitantes. Em 2006, detinha 482 estabelecimentos agropecuários com área média de 8,7 ha, ocupando 4,2 mil ha de área, sendo que 321 estabelecimentos criavam bovinos, 318 aves e 275 suínos (IBGE, 2006; 2013).

Na Figura 2, a seguir, apresenta-se o desenho esquemático da proposta, a qual prevê como estratégia para a gestão dos efluentes (A e B) o seu transporte para aplicação no solo como biofertilizante e a compostagem e secagem dos lodos, cabendo à Prefeitura Municipal arcar com os custos de transporte (dos dejetos para a usina e dos efluentes para as áreas agrícolas).



Fonte: elaborado pelos autores a partir de Block (2011) e Carvalho (2011).

Figura 2. Desenho esquemático da proposta de implantação de uma usina de biogás em Tupandi (RS)

Abrangência do estudo e tecnologias consideradas

O estudo não se propõe a analisar a viabilidade global do projeto, mas apenas o impacto de diferentes rotas de tratamento dos efluentes (A e B na Figura 2) no valor econômico a ser gerado pela usina de biogás. Foram analisadas cinco tecnologias alternativas para destinação final dos efluentes produzidos pela usina de biogás:

1. Transporte dos efluentes para aplicação no solo como biofertilizante líquido.
2. Separação do lodo com um equipamento decanter, transporte do efluente líquido para aplicação no solo como biofertilizante e secagem do lodo com o uso de sacos de rafia para venda do subproduto (adubo orgânico sólido). Esta alternativa é uma variante da anterior, não sendo propriamente dita uma opção tecnológica distinta.
3. Sistema de Tratamento de Efluentes da Suinocultura (Sistrates) com descarte dos efluentes tratados nos corpos d'água (ou reuso) e secagem do lodo do módulo de fósforo com o uso de sacos de rafia para venda do subproduto (fosfato de cálcio).
4. Separação do lodo com um filtro de areia rápido, tratamento do efluente líquido com equipamento de osmose reversa, com descarte dos efluentes líquidos tratados nos corpos d'água (ou reuso), transporte dos efluentes líquidos não tratados para aplicação no solo como biofertilizante e secagem do lodo do filtro de areia rápido com o uso de sacos de rafia para venda do subproduto (adubo orgânico sólido).
5. Uso dos efluentes em substituição à água limpa em uma fábrica de fertilizantes fluidos e posterior venda do produto no mercado de fertilizantes. Esta não é propriamente uma alternativa, mas um novo negócio.

Na Figura 3, são descritos os fluxogramas básicos destas alternativas, com destaque para a separação entre fluxos de líquidos e de sólidos, bem como para os tipos de efluentes e subprodutos finais.

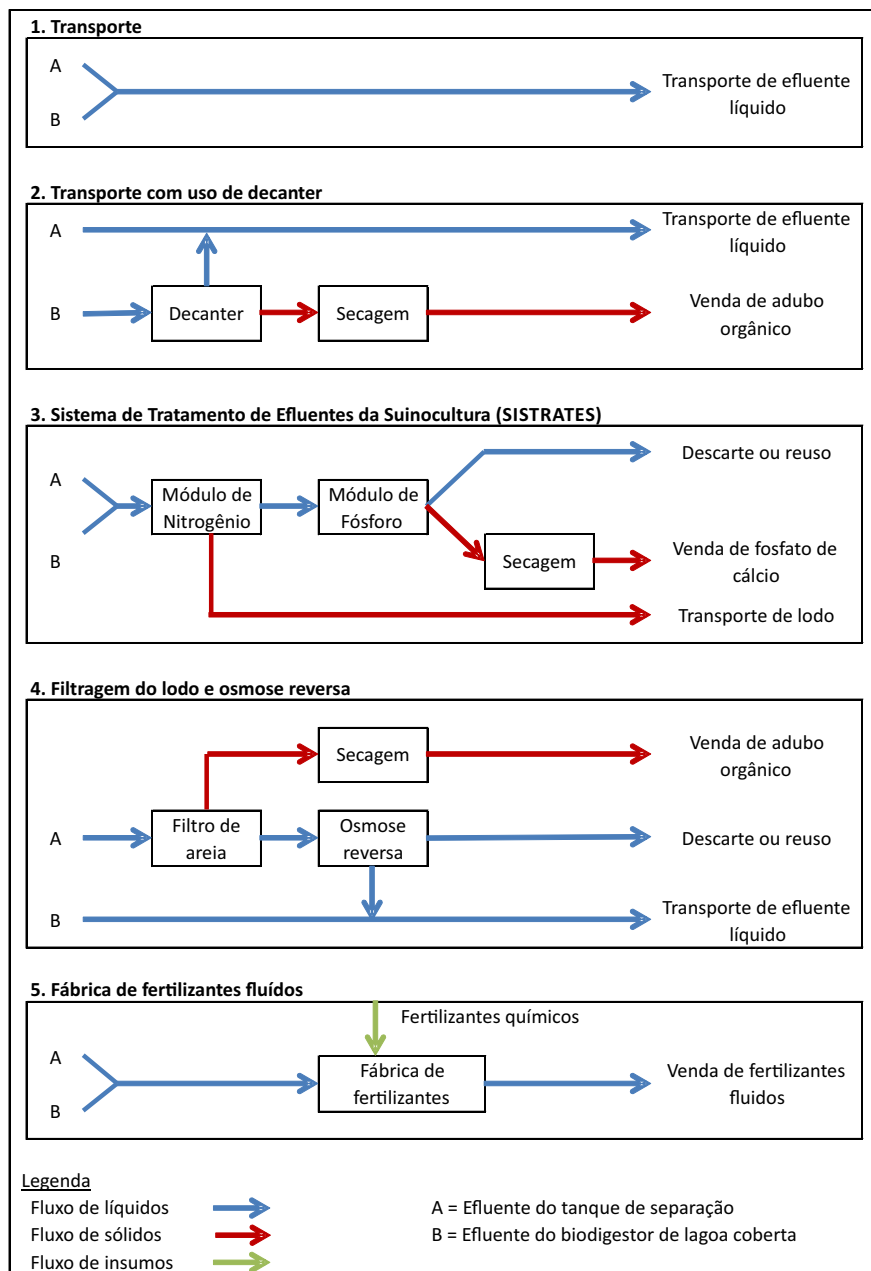


Figura 3. Alternativas tecnológicas consideradas para o correto manejo e disposição final dos efluentes de uma usina central de biogás em Tupandi, RS

Além dessas cinco alternativas, também foi analisada a possibilidade de manejo dos efluentes líquidos (A e B na Figura 2) por meio de compostagem e de secagem com o calor dos geradores de energia. Estas opções foram descartadas em função dos argumentos técnicos a seguir.

Apesar de a compostagem ser considerada uma prática consolidada, uma série de fatores limita a obtenção de um fertilizante de qualidade que atenda as especificações legais para sua comercialização⁴. A quantidade e a qualidade da matéria orgânica são dois desses fatores. O processo de compostagem envolve a mistura controlada dos dejetos com um leito de material absorvente onde ocorre o processo de fermentação aeróbia. O material absorvente ou substrato é normalmente composto de uma mistura de serragem e maravalha. O processo de fermentação necessita de matéria orgânica biodegradável para a atividade biológica, que promove o aumento da temperatura da leira de compostagem e a evaporação do excedente de umidade. Considerando que a maravalha ou a serragem são compostos de material lignificado e de baixa decomposição, é necessário uma fonte alternativa de carbono para que o processo ocorra satisfatoriamente (HIGARASHI, 2012). Esta fonte de carbono é fornecida pelo próprio dejetos adicionado à mistura. Como o processo de biodigestão que ocorre na usina de biogás é extremamente eficiente em remover o carbono dos dejetos, a compostagem do efluente do biodigestor é tecnicamente possível apenas mediante a adição de outra fonte de carbono à leira de compostagem. Entretanto, esta fonte adicional de carbono teria maior utilidade caso fosse usada nos próprios biodigestores, gerando mais energia do que no sistema de compostagem. Considerando os aspectos mencionados acima, esta técnica não foi contemplada neste estudo porque os efluentes do biodigestor não são adequados para compostagem.

4 Instrução Normativa (IN) nº 25 de 2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Em termos de secagem, o estudo considerou apenas a secagem do lodo nas diferentes alternativas analisadas, ou seja, a secagem do lodo do decanter, do lodo do módulo de fósforo do Sistrates e do lodo do filtro de areia rápida que precede o equipamento de osmose reversa. Tendo em vista os pequenos volumes envolvidos, optou-se pelo uso de sacos de ráfia de secagem em vez de equipamentos mais intensivos em tecnologia como o uso de secadores a biogás. O estudo não considerou a secagem do efluente líquido porque esta alternativa apresenta viabilidade técnica apenas para a parte sólida (lodos) e não para o efluente líquido (BLOCK, 2012a).

Assim, justifica-se a exclusão da análise de secagem dos efluentes da usina neste estudo pelos seguintes motivos:

1. A energia consumida para evaporar 1 kg de água é de 4.000-5.000 kJ, dependendo da eficiência do equipamento e método de secagem empregado. Considerando um valor médio de 4.500 kJ ou 1.075 kcal por kg de água, estimou-se que para a secagem do efluente bruto dos biodigestores (386 m³/dia com 3,21% de matéria seca), efluente após decanter (341 m³/dia com 1,46% de matéria seca) e efluente após osmose reversa (204 m³/dia com 1,7% de matéria seca), seriam necessários 387, 357 e 213 GCal por dia para que o resíduo seco atingisse os 40% de umidade máxima conforme legislação⁵.
2. A energia térmica gerada pelo motor de 600 kW que será instalado na usina é de 1.750 kWh ou 1,5 GCal/h. Considerando 23h de trabalho por dia, a energia térmica gerada diariamente por esse motor é equivalente a 34,6 GCal.
3. Considerando que toda esta energia esteja disponível para a secagem dos efluentes (cenário que desconsidera o uso de parte desta energia para aquecimento do biodigestor), a oferta de energia térmica atende apenas 8,9, 9,7 e 16,2% da demanda de energia para secagem dos efluentes brutos, pós-decanter e pós-osmose, respectivamente.

5 IN/MAPA nº 25.

Metodologia e fontes de dados e informações

A metodologia utilizada é de um estudo de caso prospectivo, com a definição de dois cenários para a linha de base e a estimação das seguintes variáveis quantitativas para cada uma das alternativas tecnológicas analisadas (Figura 3):

- Volume e características dos dejetos, dos efluentes, lodos e subprodutos;
- Coeficientes técnicos especificando o consumo de insumos intermediários e fatores de produção;
- Custos de transporte dos efluentes, lodos e subprodutos;
- Preços de mercados de insumos e fatores de produção;
- Investimento inicial, custo (total, operacional e respectiva composição percentual) e receita potencial com subprodutos;
- Valor presente líquido (VPL) a ser contabilizado no valor a ser gerado pela usina de biogás, seguindo o conceito de fluxo de caixa incremental (GALESNE et al., 1999). Taxa de desconto de 10% ao ano ou 0,797% ao mês, vida útil do projeto de 120 meses e valor residual dos investimentos de 10%.

Também foi desenvolvida uma avaliação qualitativa para cada uma das alternativas tecnológicas analisadas, abordando os benefícios, vantagens, desvantagens e riscos. O estudo de caso finaliza com considerações voltadas à política pública e os desafios para a inovação em projetos desta natureza.

Para determinar o volume e características dos dejetos, utilizou-se as seguintes fontes de dados e informações:

- Levantamento inicial do rebanho dos 78 produtores previstos para participar do projeto (Tabela 1);
- Levantamento posterior em uma amostra de 23 produtores a fim de determinar o valor médio de matéria seca dos dejetos líquidos de suínos de 3,46% (RAMME, 2011);
- Levantamentos prévios realizados pela Embrapa Suínos e Aves (Oliveira et al., 1993) e pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2004) para estabelecer a concentração de nutrientes N, P_2O_5 e K_2O (Tabela 2).
- Na Tabela 3, apresenta-se a estimativa para o volume anual de dejetos e a quantidade anual de matéria seca, matéria seca orgânica e de nutrientes excretados pelos rebanhos suínos, bovinos e de aves dos estabelecimentos agropecuários previstos para participar do projeto.

Tabela 1. Número de estabelecimentos agropecuários previstos para participar do projeto e respectivo rebanho

Atividade pecuária e sistema de criação		Nº. de estabelecimentos agropecuários	Rebanho (cab.)
Suinocultura	Unidade de produção de leitão (matrizes e leitões até 28 dias de idade)	6	9.083
	Crechário (leitões até 70 dias de idade)	3	33.000
	Terminação (suínos até idade de abate)	61	28.030
Produtores de frango de corte		5	127.000
Bovinocultura		3	1.070
Total		78	

Fonte: elaborado pelos autores a partir de Block (2011).

Tabela 2. Volume e característica dos dejetos dos rebanhos suínos, bovinos e de aves dos estabelecimentos agropecuários previstos para participar do projeto

Tipo de rebanho	Volume (m ³ /cab./ ano)	Matéria seca (%)	Matéria seca orgânica (% MS)	Concentração (kg/m ³)		
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Matrizes e leitões	6,6	2,0	72	2,12	1,75	1,25
Leitões creche	0,5	5,0	72	4,36	3,91	2,13
Suínos em terminação	2,6	4,0	72	3,44	2,99	1,75
Cama de aves	0,015	50,0	85	3,60	1,53	2,63
Bovinos	20,0	10,0	86	3,28	1,82	3,09

Fonte: elaborado pelos autores a partir de Ramme (2011), Oliveira et al. (1993) e CQFS-RS/SC (2004).

Tabela 3. Volume anual de dejetos e quantidade anual de matéria seca, matéria seca orgânica e nutrientes dos estabelecimentos agropecuários previstos para participar do projeto

Tipo de rebanho	Volume (m ³ /ano)	Matéria seca (t/ano)	Matéria seca orgânica (t/ano)	N (t/ano)	P ₂ O ₅ (t/ano)	K ₂ O (t/ano)
Matrizes e leitões	59.539	1.191	857	126.223	104.193	74.424
Leitões creche	16.863	843	607	73.523	65.934	35.918
Suínos em terminação	71.617	2.865	2.063	246.361	214.134	125.329
Cama de aves	1.905	953	810	68.580	29.147	50.102
Bovinos	21.400	2.140	1.840	70.192	38.948	66.126
Total	171.324	7.991	6.177	584.879	452.356	351.899

Fonte: elaborado pelos autores a partir de Block (2011); Ramme (2011); Oliveira et al. (1993) e CQFS-RS/SC (2004).

O volume e as características dos efluentes da usina de biogás e dos efluentes, lodos e subprodutos das alternativas tecnológicas analisadas (Tabela 4) foram estimados pelos autores com base nas seguintes fontes de dados e informações:

- Inserção dos dados da Tabela 3 em planilha de cálculo disponibilizada pela GIZ (BLOCK, 2011), a qual contém os coeficientes de desempenho técnico da usina de biogás e permite estimar o volume e as características dos seus efluentes (A e B na Figura 2);
- Informações técnicas obtidas em Kunz et al. (2009) e Miele et. al (2011) para o Sistrates⁶, Block (2012b) para a filtração com osmose reversa e Cozzo (2012) para a fábrica de fertilizantes fluidos.
- Estas fontes de dados e informações também foram utilizadas para determinar o uso de insumos e fatores de produção por volume de efluente a ser tratado (Tabela 5), bem como o investimento inicial necessário à implantação de cada uma das alternativas tecnológicas analisadas.

6 O Sistrates teve sua patente depositada em fevereiro de 2011 no INPI, como PI (Pedido de Invenção), sobre o Protocolo nº 012110000133.

Tabela 4. Descrição e características dos efluentes, lodos e subprodutos da usina central de biogás e das alternativas tecnológicas analisadas

Alternativa tecnológica	Descrição dos efluentes, lodos e subprodutos	Volume (Unid./dia)	Matéria Seca (%)	Concentração de nutrientes (kg/m³)	Valor fertilizante (R\$/Unid. de volume)
Usina de biogás	Efluente do tanque de separação (A na Figura 2)	239 m³	0,81	2,74	1,92
	Efluente do biodigestor de lagoa coberta (B na Figura 2)	147 m³	7,11	6,17	5,70
Transporte	Efluente líquido	386 m³	3,21	4,05	3,12
Transporte + Decanter	Efluente líquido	341 m³	1,46	4,10	3,50
	Adubo orgânico (lodo seco do decanter)	17 ton.	60,00	7,63	30,02
	Descarte ou reuso de água (atinge padrão de lançamento)	294 m³	0,81	0,01	0,01
	Lodo do módulo de remoção de N	19 m³	3,21	0,14	0,58
Sistrates	Fosfato de cálcio (após secagem)	12 t	60,00	0,00	34,88
Filtragem + Osmose Reversa	Efluente líquido	204 m³	1,70	7,98	3,18
	Descarte ou reuso de água limpa	172 m³	0,00	0,00	0,00
	Adubo orgânico (lodo seco do filtro de areia rápido)	2 t	60,00	97,57	113,34
Fábrica de fertilizantes	Fertilizante fluido (0-10-10)	597 t	Nd	0,00	100,00

Fonte: elaborado pelos autores a partir de Oliveira et al. (1993); CQFS-RS/SC (2004); Kunz et al. (2009); Block (2011; 2012a; 2012b); Miele et. al (2011); Ramme (2011); Cazzo (2012).

Tabela 5. Coeficientes técnicos para caracterizar o uso de insumos e fatores de produção das alternativas tecnológicas analisadas

Insumo	Unid./m³ de efluentes do biodigestor	Transporte	Transporte + Decanter	Sistrates	Filtragem e osmose reversa	Fábrica de fertilizantes fluidos
Ácido e base	R\$	0,000	0,000	0,0000	0,019	0,000
Energia elétrica	kWh	0,000	0,934	4,033	1,943	3,197
Hidróxido de cálcio	kg	0,000	0,000	0,950	0,950	0,000
KCl	kg	0,000	0,000	0,000	0,000	258,114
Mão de obra	h	0,000	0,008	0,008	0,008	0,028
MAP	kg	0,000	0,000	0,000	0,000	287,481
Óleo diesel	L	3,384	3,066	0,017	1,578	8,032
Polímeros	kg	0,000	0,100	0,000	0,000	0,000
Sacos de rafia	Unid.	0,000	0,833	0,833	0,833	0,000
Ureia	kg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Fonte: elaborado pelos autores a partir de Kunz et al. (2009); Miele et. al (2011); Block (2012a; 2012b); Cozzo (2012).

O valor fertilizante (Tabela 4) foi calculado a partir da concentração de nutrientes nos efluentes, lodos e subprodutos e do preço de mercado dos fertilizantes pago pelos produtores. Considerou-se que a ureia contém 44% de N; o superfosfato triplo contém 42% de P_2O_5 ; e o cloreto de potássio (KCl) contém 60% de K_2O . Ressalta-se que este valor é um preço-sombra dado aos efluentes, lodos e subprodutos tendo em vista que estes não têm preço de mercado (exceto o fertilizante fluido). Nesse sentido, são valores ilustrativos que permitem comparar diferentes efluentes e subprodutos em uma mesma base (valor em NPK) e não se constituem necessariamente em receita, preço de venda ou custo de produção. O benefício econômico proporcionado pelos efluentes será igual ao valor fertilizante quando estes são aplicados em áreas próprias. Quando aplicados em áreas de terceiros, será igual ao preço de venda, o qual pode sofrer deságios de até 100%.

O estudo considerou como linha de base para comparação das alternativas tecnológicas o custo de transporte dos efluentes da usina central de biogás até as lavouras da região para aplicação no solo como biofertilizante (alternativa n.º 1, na Figura 3), deduzido do benefício

econômico gerado por estes efluentes. Este custo é determinado pelo equipamento utilizado, pelo preço dos insumos (diesel, pneus e manutenção, mão de obra e valor do caminhão) e, principalmente, pela distância média a ser percorrida.

Para estimar a distância média, foi desenvolvido um modelo baseado na oferta e demanda de nutrientes em Tupandi e nos 127 municípios localizados a uma distância de até 150 km e, também, da disposição dos agricultores da região em aceitar os efluentes da usina. As fontes de dados e informações utilizadas foram:

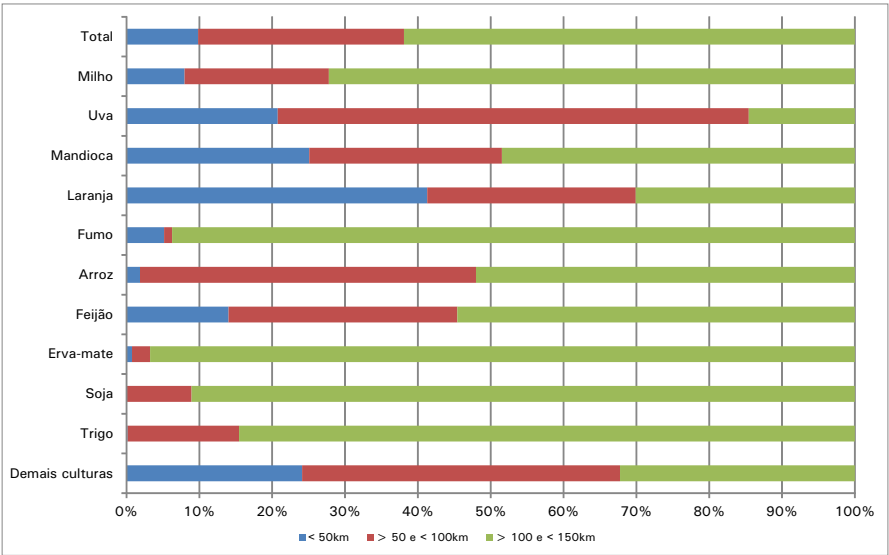
- Dados da Pesquisa Pecuária Municipal – PPM (IBGE, 2012b) para dimensionar o rebanho suíno;
- Estimativa da oferta de dejetos e de nutrientes (NPK) pelos rebanhos suínos a partir da concentração média de 3,46% de matéria seca, excreção diária média de 8,6 L/cabeça/dia, e concentração de nutrientes média de 3,13 kg/m³ para N; 2,68 kg/m³ para P₂O₅ e; 1,63 kg/m³ para K₂O (OLIVEIRA et al., 1993; CQFS-RS/SC, 2004; RAMME, 2011)⁷;
- Dados da Pesquisa Agrícola Municipal – PAM (IBGE, 2012a) para dimensionar a área plantada (ha) das principais culturas (Tabela 6 e Figura 4);
- Estimativa da demanda de nutrientes (NPK) com base nas recomendações de adubação para manutenção e correção dos teores de nutrientes no solo em função da capacidade de extração de NPK pelas culturas agrícolas cultivadas na região, considerando o elemento crítico fósforo (NICOLOSO; CORRÊA, 2012);
- A disposição dos agricultores da região em aceitar os efluentes da usina e a consequente porcentagem da área disponibilizada são variáveis desconhecidas, por isso se utilizou uma simulação com diversos níveis de aceitação (de 100% da área plantada até 10%).

7 Como os dados da PPM não discriminam o sistema de criação e o tipo de rebanho suíno, optou-se por utilizar a excreção diária e concentração média de nutrientes de rebanho.

Tabela 6. Área plantada (ha) das principais culturas, segundo distância até o município de Tupandi (RS), 2010

Cultura	≤50 km	> 50 e ≤ 100 km	> 100 e ≤ 150 km	Total
Milho	13.540	33.692	122.825	170.057
Uva	7.563	23.555	5.303	36.421
Mandioca	4.957	5.223	9.575	19.755
Laranja	4.106	2.847	2.993	9.946
Fumo	2.205	474	40.101	42.780
Arroz	1.601	40.109	45.213	86.923
Feijão	1.119	2.511	4.362	7.992
Erva-mate	34	113	4.400	4.547
Soja	9	3.635	37.163	40.807
Trigo	7	822	4.534	5.363
Demais culturas	11.096	20.087	14.845	46.028
Total	46.237	133.068	291.314	470.619

Fonte: Pesquisa Agrícola Municipal – PAM (IBGE, 2012a).



Fonte: Pesquisa Agrícola Municipal – PAM (IBGE, 2012a).

Figura 4. Distribuição (%) da área plantada das principais culturas, segundo distância até o município de Tupandi (RS), 2010

Para estimar o custo unitário do transporte dos efluentes (R\$/km e R\$/m³) se considerou o uso de caminhões truck traçados, quatro eixos a diesel, com carroceria-tanque com capacidade de 20 m³. A velocidade média utilizada foi de 35 km/h, com um consumo de 0,5 L de óleo diesel por km rodado e de 3,0 L/h durante as operações de carregamento e descarregamento. O regime de operação foi de 16 h/dia, com dois turnos de um motorista cada (considerando-se uma folga de 10% para atrasos e pausas inesperadas, o que representa uma operação efetiva de 14,4 h/dia). Como a aplicação dos efluentes não pode ser feita em dias chuvosos, considerou-se apenas 165 dias úteis sem chuva, por ano (INMET, 2012). Como o transporte será realizado por prestadores de serviços de frete, calculou-se o valor dos impostos diretos com base no lucro real e incidência de ISSQN.

Na Tabela 7 se apresentam os preços de mercado utilizados neste estudo.

Tabela 7. Preços de mercado

Item	Unidade de medida	Preços *
Adubo orgânico do decanter* *	R\$/t	16,27
Adubo orgânico do filtro de areia rápido* *	R\$/t	170,91
Caminhão truck traçado (6X4 4e Dies.)	R\$ mil/un.	235,00
Carroceria-tanque de 20 m ³	R\$ mil/un.	28,00
Energia elétrica comprada	R\$/kWh	0,264
Energia elétrica vendida	R\$/kWh	0,140
Escavadeira hidráulica para lagoas	R\$/h máquina	197,17
Fertilizante fluido (00-10-10)	R\$/t	519,82
Fertilizante sólido (00-25-25)	R\$/t	1.214,54
Fosfato de cálcio do Sistrates* *	R\$/t	28,84
Frete dos insumos para a fábrica de fertilizantes fluidos	R\$/t	35,47
Frete fertilizante fluido (100 km somente ida)	R\$/t	58,000
Frete subprodutos vendidos (35 km somente ida) * * *	R\$/t	15,85
Hidróxido de cálcio	R\$/kg	0,50
KCl	R\$/t	1.262,22

Continua...

Continuação...

Item	Unidade de medida	Preços*
Lona PVC para revestimento das lagoas	R\$/m ²	25,00
MAP	R\$/t	1.491,00
Monitoramento	R\$/mês	1.104,00
Óleo diesel	R\$/L	2,12
Pneus	R\$/un.	1.674,00
Polímeros	R\$/kg	25,00
Sacos de ráfia para secagem de lodo	R\$/saco	10,00
Salários operadores (inclui encargos)	R\$/mês	1.353,00
Salários motoristas (inclui encargos)	R\$/mês	1.908,00
Superfosfato triplo	R\$/t	1.328,74
Taninos	R\$/L	1,85
Ureia	R\$/t	1.197,13

Fonte: levantamentos a campo realizados pelos autores; ANP (2012); Cozzo (2012) e EPAGRI/CEPA (2012).

* Valores médios para o período de jan./2011 a mai./2012, atualizados pelo IGP-DI para jun./ 2012.

** Preço FOB calculado, considerando 60% de matéria seca e deságio de 74% em relação ao valor fertilizante, de acordo com deságio verificado no mercado de cama de aviário.

*** Para a venda de adubo orgânico e fosfato de cálcio, considerou-se a distância de 35 km de Tupandi até o município de Montenegro, RS, onde está localizada a Cooperativa dos Citricultores Ecológicos do Vale do Caí, a Ecocitrus, que produz e comercializa adubos orgânicos por meio de uma usina de compostagem de resíduos agroindustriais.

Linha de base para comparar as alternativas: transporte dos efluentes

A alternativa n.º 1 de transporte dos efluentes da usina de biogás para aplicação no solo como biofertilizante das lavouras é a de menor complexidade tecnológica e de maior flexibilidade (MAYERLE, 2011)⁸, e representa a principal estratégia de manejo dos dejetos suínos no Brasil, sendo também a estratégia de manejo dos efluentes proposta pelo projeto (CARVALHO, 2011). Por isso, será considerada a linha de base para comparação com as demais alternativas.

Os benefícios desta alternativa são o uso dos nutrientes contidos nos dejetos e efluentes (NPK) e o seu importante papel como agente condicionador de solos (carbono e outros nutrientes), reduzindo as despesas dos agricultores com adubos minerais e, também, impactando de forma positiva na produtividade das lavouras⁹. Em situações nas quais o efluente é aplicado em áreas próprias, pode-se afirmar que o detentor do efluente será beneficiado com o seu valor fertilizante equivalente à redução de despesas com adubos químicos. Entretanto, quando o efluente é aplicado em áreas de terceiros, o benefício a ser obtido será equivalente ao seu preço de venda, e não ao seu valor fertilizante. O preço de venda é muito variável, mas pode sofrer deságios de até 100% em relação ao valor fertilizante. Na comercialização de cama de frango de corte, os deságios variam de 66% a 92% em relação ao seu valor fertilizante.

8 Arranjo logístico com produção centralizada de biogás e de energia elétrica e descentralização na coleta de dejetos e na distribuição dos efluentes (MAYERLE, 2011).

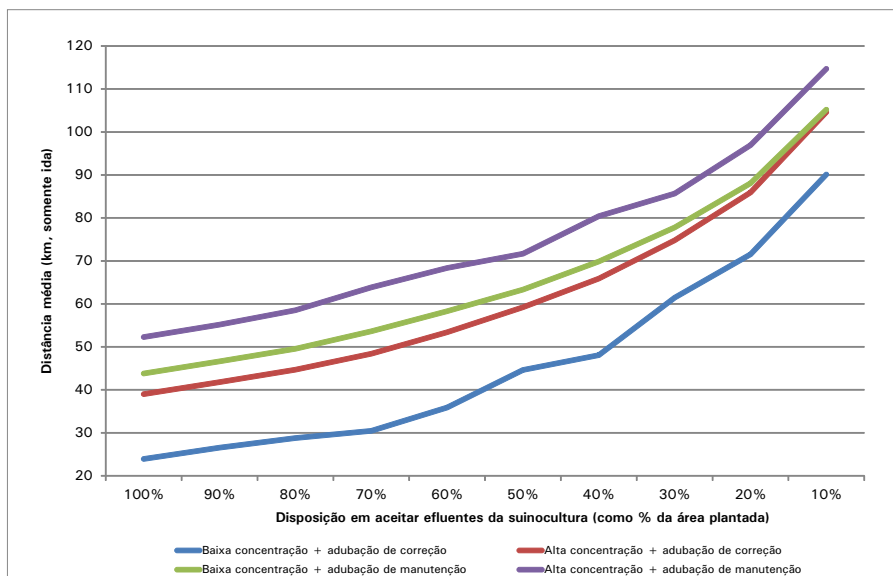
9 Esta análise econômica não considerou os efeitos positivos na qualidade do solo e na produtividade das lavouras, apenas o seu valor fertilizante (redução das despesas com fertilizantes químicos) ou seu preço de venda quando for o caso.

O principal limitador desta alternativa é a elevada concentração de rebanhos suínos e de outras criações confinadas em relação à escassa disponibilidade de áreas agrícolas próximas para a reciclagem dos dejetos de forma ambientalmente correta. Essa situação não ocorre em todas as regiões produtoras, mas é particularmente característica das tradicionais zonas de produção suinícola do Sul do Brasil, como é o caso da região onde se localiza o município de Tupandi.

Os solos da região de Tupandi e do seu entorno se caracterizam pela baixa aptidão para a agricultura mecanizada (alta declividade e pedregosidade), o que limita a área agrícola disponível para aplicação do biofertilizante, e também pela elevada fertilidade natural que apresentam. Considerando o exposto, e também a necessidade do empreendimento (usina) ser sustentável em longo prazo, a demanda de nutrientes deve ser calculada com base nas recomendações de adubação para manutenção dos teores de nutrientes no solo em função da capacidade de extração de NPK pelas culturas agrícolas cultivadas na região. Como não há informações atualizadas disponíveis sobre o nível de fertilidade nos solos da região, é possível esperar que, nos primeiros anos, a demanda de fertilizantes seja maior do que a calculada devido à necessidade de correção da fertilidade do solo. No entanto, após este processo, a demanda de fertilizantes deve cair para os níveis calculados em função da demanda de manutenção, se as recomendações agronômicas forem seguidas corretamente e o cenário agrícola da região se mantiver inalterado. Além da oferta de NPK via biofertilizantes oriundos da usina, deve-se também computar a oferta de biofertilizantes nos municípios potencialmente receptores dos efluentes da usina, a fim de que o problema de excesso de nutrientes não seja apenas transferido para os outros municípios.

Tendo em vista diferentes recomendações de adubação (correção x manutenção), variabilidade na concentração de nutrientes dos efluentes e diversos níveis de disposição dos agricultores em aceitar os efluentes da usina para aplicação nas lavouras, deve-se prever grande variabilidade e incerteza em relação à distância a ser percorrida para

o transporte dos efluentes. Na Figura 5, apresenta-se a simulação do modelo descrito anteriormente, o qual prevê que a distância para o transporte dos efluentes da usina central de biogás pode variar de 24 a 115 km (somente ida)¹⁰

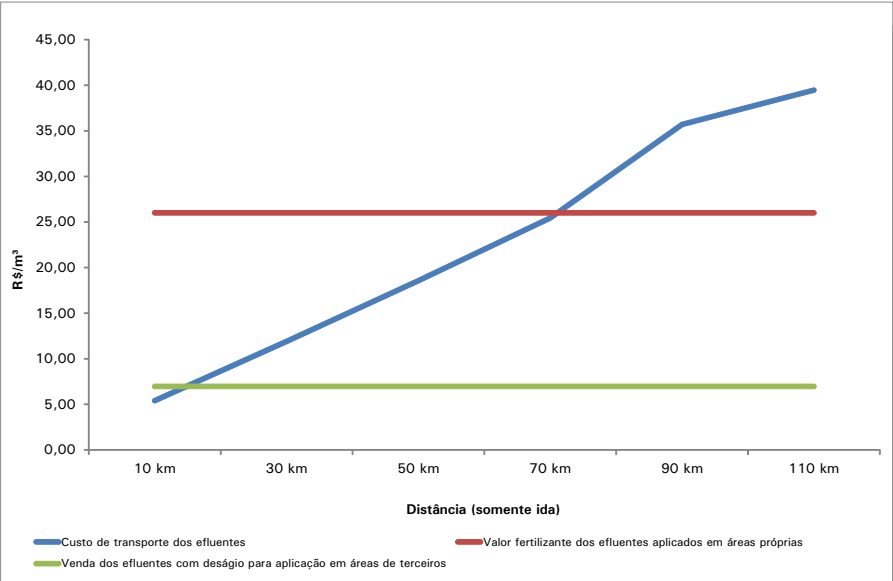


Fonte: elaborado pelos autores, conforme metodologia.

Figura 5. Distância média ponderada para transportar os efluentes da usina central de biogás em Tupandi, em função da disposição em aceitar os efluentes da suinocultura, da concentração de nutrientes nos efluentes e da recomendação agronômica de adubação

¹⁰ O estudo não considerou a oferta de dejetos e de NPK pelo rebanho bovino porque a maior parte não é criada em confinamento, com os dejetos sendo absorvidos pelas áreas de pastagem. Também não foi considerado o rebanho de frangos de corte e outras aves porque a cama de aviário pode ser comercializada a distâncias maiores do que os dejetos suínos, sendo, em muitos casos, adquirida por fábricas de fertilizantes orgânicos. Caso a oferta de NPK por estes rebanhos fosse considerada, dever-se-ia prever um significativo aumento na distância média a ser percorrida.

A grande variabilidade nas distâncias a serem percorridas (Figura 5) se reflete nos custos de transporte dos efluentes (Figura 6), que poderá variar de 9,77 R\$/m³ (4,08 R\$/km rodado) para a distância mínima de 24 km, até 39,65 R\$/m³ (3,46 R\$/km rodado) para a distância de 115 km. Estas projeções estão alinhadas com os custos de transporte de dejetos líquidos da suinocultura com o uso de caminhão-tanque verificado em levantamentos realizados por Sandi et al. (2011; 2012) em municípios da região Sul (Tabela 8).



Fonte: elaborado pelos autores, conforme metodologia.

Figura 6. Custo de transporte dos efluentes, em função da distância da usina central de biogás até as lavouras, valor fertilizante e preço de venda dos efluentes

Tabela 8. Custo de transporte e distribuição de dejetos líquidos da suinocultura, com o uso de caminhão-tanque, sem subsídio, em municípios selecionados da região Sul, 2012

Município	Distância (km, somente ida)	Capacidade do tanque (m ³)	R\$/m ³	R\$/km
Tupandi (RS)	12,00	15,00	6,59	4,12
Toledo (PR)	12,00	15,00	6,95	4,34
Cascavel (PR)	10,00	15,00	7,30	5,48
Tupandi (RS)	8,00	15,00	4,39	4,12
Palotina (PR)	8,00	12,00	6,08	4,56
Concórdia (SC)	8,00	8,00	8,13	4,07
Cafelândia (PR)	3,00	8,00	3,91	5,22
Média	8,71	12,57	6,19	4,56

Fonte: elaborado pelos autores a partir de Sandi et al. (2011; 2012). Valores atualizados para mai./2012 pelo IGP-DI.

É importante comparar a distância necessária para atender a recomendação agrônômica em função da disposição em aceitar os efluentes (Figura 5) com a distância máxima que garante a viabilidade econômica do transporte em função da condição de valoração dos efluentes (Figura 6). O transporte e posterior aplicação dos efluentes em áreas de terceiros somente são viáveis a distâncias inferiores àquela necessária para atender a recomendação agrônômica, mesmo quando a disponibilidade em aceitar os efluentes é de 100% da área plantada (Tabela 9).

Tabela 9. Distância necessária para atender a recomendação agrônômica em função da disposição em aceitar os efluentes, distância máxima para viabilidade econômica do transporte em função da condição de valoração dos efluentes e respectivos custos de transporte

Critério	Distância média (km, somente ida)	Custo de transporte	
		R\$/km	R\$/m³
Distância para atender a recomendação agrônômica de manutenção utilizando 100% da área plantada	44	3,72	16,32
Distância para atender a recomendação agrônômica de manutenção e alta aceitação do efluente (70% da área plantada)	54	3,64	19,55
Distância para atender a recomendação agrônômica de manutenção e baixa aceitação do efluente (30% da área plantada)	78	3,53	27,50
Distância economicamente viável para aplicação em área própria (custo = valor fertilizante)	73	3,55	26,01
Distância economicamente viável para aplicação em área de terceiros (custo = preço de mercado com deságio médio de 74% sobre o valor fertilizante)	15	4,52	6,96

Fonte: elaborado pelos autores, conforme metodologia.

A partir destas considerações, acredita-se que as condições mais prováveis de remoção dos efluentes da usina central de biogás em Tupandi tenham as seguintes características:

- Predomínio de solos de boa qualidade demandando apenas adubação de manutenção.
- Baixa concentração de nutrientes nos dejetos (Tabela 2).
- Baixa disposição em aceitar efluentes da usina de biogás.
- Grande variabilidade e incerteza em relação à distância a ser percorrida para transporte dos efluentes (Figura 5) e, conseqüentemente, nos custos de transporte (Figura 6).

- Aplicação em área de terceiros, com alto deságio sobre o seu valor fertilizante, o qual também está sujeito a grande variabilidade e incerteza¹¹.

A principal consequência para a linha de base deste estudo é que o custo líquido¹² de transporte dos efluentes muito provavelmente será positivo (custo de transporte > benefício econômico) e estará sujeito a grande variabilidade, constituindo-se em uma das principais fontes de incerteza do projeto. Como não é possível determinar este valor a priori, optou-se por utilizar dois cenários para a presente análise, quais sejam:

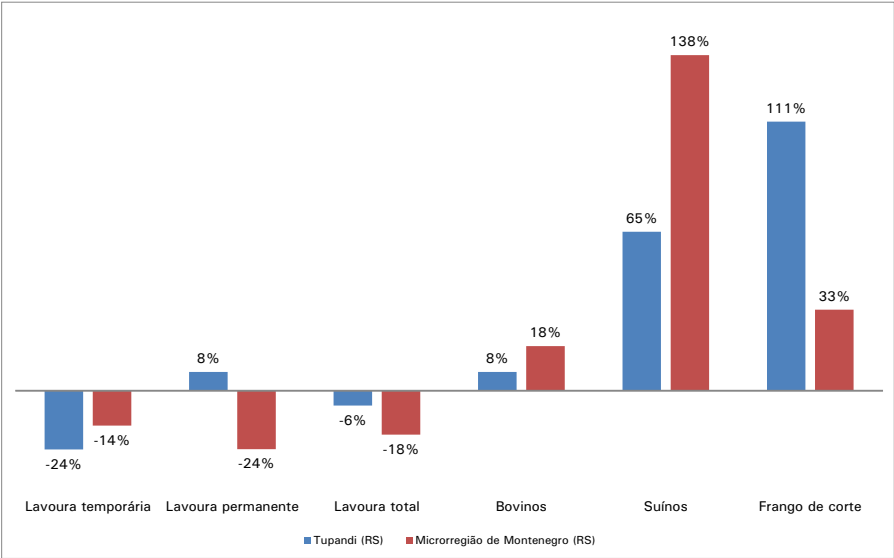
- **Cenário 1:** baixo custo líquido de transporte, de 1,50 R\$/m³ (definido a partir de consulta a um grande produtor de suínos da região Sul que não dispõe de área agrícola).
- **Cenário 2:** alto custo líquido de transporte, de 2,71 R\$/m³, que representa um acréscimo de 80% sobre o Cenário 1.

Ambos os cenários são considerados conservadores (subestimam o custo líquido de transporte) dadas as características acima descritas, as tendências verificadas na relação entre rebanho e área agrícola (Figura 7) e, também, o comportamento futuro dos preços (sobretudo do óleo diesel).

Por outro lado, é importante que se considere a possibilidade de utilização do biogás gerado como fonte de combustível para mover a frota de caminhões, o que pode ser uma alternativa atraente para redução dos custos e emissões atmosféricas (GEE). No momento, entretanto, esta tecnologia é ainda incipiente e indisponível comercialmente no Brasil. Além disso, reduz a oferta de biogás para geração de energia, reduzindo as receitas do projeto.

11 A alta volatilidade das taxas de câmbio e do preço dos fertilizantes no mercado internacional também impacta diretamente nesta variável.

12 O custo líquido do transporte do efluente equivale ao custo de transporte deduzido do valor fertilizante do efluente quando este é aplicado em áreas próprias, ou deduzido do preço de venda do efluente quando este é aplicado em áreas de terceiros.



Fonte: elaborado pelos autores a partir de Pesquisa Agrícola Municipal – PAM (IBGE, 2012a); Pesquisa Pecuária Municipal – PPM (IBGE, 2012b).

Figura 7. Crescimento da área plantada com lavouras e do efetivo dos rebanhos em Tupandi e na microrregião de Montenegro, 2000-2010 (em %)

Resultados

Nesta seção, é discutida a análise de viabilidade econômica a partir do valor dos investimentos, custos e VPL estimados para as cinco alternativas propostas, nos dois cenários considerados, quais sejam, de baixo e de alto custo líquido de remoção dos efluentes. Ao final, é apresentada uma análise qualitativa dos benefícios, vantagens, desvantagens e riscos das alternativas tecnológicas.

Alternativas n.º 1 e n.º 2: transporte e transporte com decanter

A alternativa n.º 1 de transporte dos efluentes requer o menor investimento inicial, de R\$ 357 mil. Este valor refere-se à construção de uma lagoa de armazenagem dos efluentes com volume de 30,9 mil m³, para um período de 80 dias¹³. Não estão incluídos investimentos em frota própria, porque se considerou que o empreendimento realizará a terceirização dos serviços de frete¹⁴. Desta forma, o principal componente do custo são as despesas com fretes (Tabelas 10, 11 e Figura 8).

No Cenário 1, é a opção de menor custo, de aproximadamente 2,08 R\$/m³ de efluente (Tabela 10 e Figura 9), bem como de menor impacto no valor a ser gerado pela usina central de biogás, com uma redução no VPL da usina de R\$ 1,8 milhão em 10 anos (Tabela 12). O cenário 2 apresenta um custo de 3,29 R\$/m³ de efluente (Tabela 11 e Figura 9). O impacto negativo no valor a ser gerado pela usina central de biogás foi estimado em R\$ 2,9 milhões em 10 anos (Tabela 15).

13 Equivalente aos 120 dias exigidos pela legislação [Norma Técnica da FEPAM (www.fepam.rs.gov.br/central/diretrizes/diret_suinos_novos.pdf)], menos 40 dias de tempo de retenção hidráulico (TRH) na usina central de biogás. Esta estrutura de armazenagem também é necessária para os efluentes gerados nos dias chuvosos, durante os quais não é possível aplicá-los nas lavouras.

14 Caso a opção seja por frota própria, o investimento deverá ser acrescido de aproximadamente R\$ 774 mil, referentes à aquisição de três caminhões com carroceria-tanque.

A alternativa n.º 2 de transporte com separação do lodo com decanter é uma variante da alternativa n.º 1, não sendo propriamente dita uma opção tecnológica distinta. Requer o segundo menor investimento inicial, de R\$ 585 mil. Este valor refere-se à construção de uma lagoa de armazenagem dos efluentes com volume de 27,3 mil m³, para um período de 80 dias, e a instalação de um equipamento decanter (vazão de 15 m³/h) para separação do lodo do biodigestor de lagoa coberta. Também não considera investimentos em frota própria.

O uso de um decanter implica em maiores despesas com insumos químicos e manutenção, mas se revelou pouco eficaz na redução das despesas com frete. É a opção de maior custo nos dois cenários analisados e de maior impacto negativo no valor a ser gerado pelo projeto. A receita que pode ser obtida com a venda de subprodutos (adubo orgânico) tem pouca importância em relação aos custos e não altera estes resultados (Tabelas 10, 11, 12 e Figuras 8 e 9).

Alternativas n.º 3 e n.º 4: tratamento do efluente com o Sistrates ou equipamento de osmose reversa

As alternativas de tratamento dos efluentes requerem maior investimento inicial em comparação às alternativas de transporte, sendo que o Sistrates necessita de R\$ 918 mil em investimentos, enquanto que a osmose reversa requer R\$ 1,55 milhão. Além de ser mais onerosa em termos de equipamentos, esta última opção também requer a construção de uma lagoa de armazenagem da parcela dos efluentes não tratados para um período de 80 dias, com volume de 16,4 mil m³.

Os principais componentes do custo de tratamento no Sistrates são energia elétrica e insumos químicos, que representam quase metade dos custos totais. Parte dos custos com eletricidade pode ser descontada a partir da produção e conversão do biogás gerado. O equipamento de osmose reversa é mais eficiente em termos de consumo energético, mas apresenta maiores custos com depreciação e amortização do capital e despesas de manutenção, que em conjunto representam mais da metade dos custos totais (Tabelas 10 e 11 e Figuras 8 e 9). É importante salientar que a opção pelo equipamento

de osmose reversa não trata a totalidade do efluente, mas apenas o efluente do tanque de separação (A na Figura 2 e Tabela 4), com menos de 1 a 2% de matéria seca orgânica, limite para esta tecnologia (BLOCK, 2012b). Uma parcela significativa do custo (no mínimo de 20%) ocorre devido ao transporte do efluente não tratado (efluente do biodigestor de lagoa coberta, B na Figura 2 e Tabela 4), que apresenta mais de 1 a 2% de matéria seca orgânica.

Tabela 10. Investimento inicial e custo das alternativas tecnológicas no Cenário 1 (R\$/mês)

Item	Transporte	Transporte + Decanter	Sistrates	Filtragem + Osmose Reversa	Fábrica de fertilizantes fluidos
Investimento necessário	357.115	585.288	917.571	1.547.157	4.256.422
Despesas (saídas de caixa)	19.437	38.173	24.287	23.659	8.893.285
Transporte de lodos e efluentes	17.380	15.334	869	9.201	0
Energia elétrica	0	1.514	6.542	3.153	5.185
Demais insumos e serviços	1.104	16.489	9.665	1.732	8.848.471
Manutenção	893	1.463	3.823	6.446	10.833
Mão de obra	0	2.706	2.706	2.706	24.630
Eventuais	60	665	682	421	4.167
Depreciação e amortização*	4.634	7.596	11.908	20.078	55.238
Custo total	24.071	45.768	36.195	43.737	8.948.523
Receita com subprodutos (FOB)**	0	8.506	10.580	8.257	9.309.112
Frete dos subprodutos vendidos***	0	8.286	5.816	766	1.038.676
Resultado	-24.071	-45.548	-31.431	-36.247	-678.087

Fonte: elaborado pelos autores, conforme metodologia.

** O volume e as características dos subprodutos estão na Figura 3 e Tabela 4.

*** Considerou-se a distância de 35 km, somente ida, para a venda de adubo orgânico e fosfato de cálcio, e de 100 km para o fertilizante fluido.

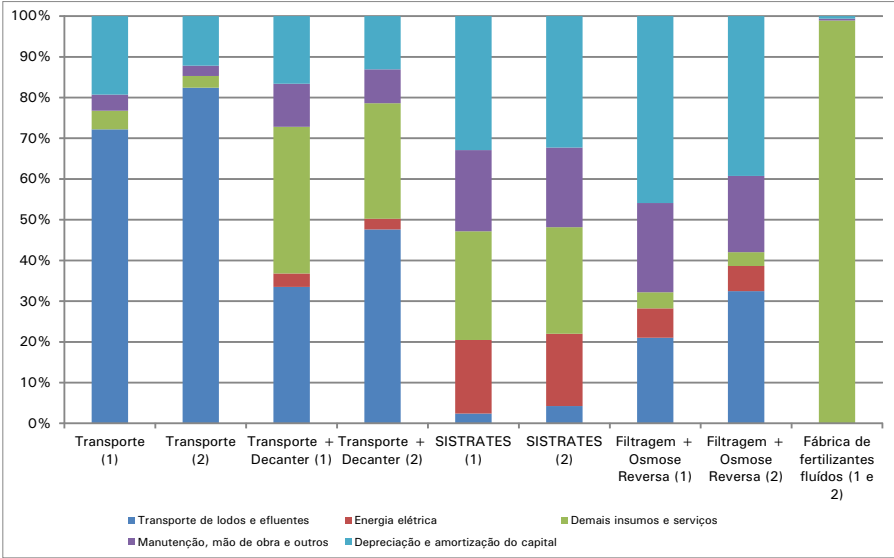
Tabela 11. Investimento inicial e custo das alternativas tecnológicas no Cenário 2 (R\$/mês)

Item	Transporte	Transporte + Decanter	Sistrates	Filtragem + Osmose Reversa	Fábrica de fertilizantes fluidos
Investimento necessário	357.115	585.288	917.571	1.547.157	4.256.422
Despesas (saídas de caixa)	33.434	50.523	24.987	31.069	8.893.285
Transporte de lodos e efluentes	31.378	27.685	1.569	16.611	0
Energia elétrica	0	1.514	6.542	3.153	5.185
Demais insumos e serviços	1.104	16.489	9.665	1.732	8.848.471
Manutenção	893	1.463	3.823	6.446	10.833
Mão de obra	0	2.706	2.706	2.706	24.630
Eventuais	60	665	682	421	4.167
Depreciação e amortização*	4.634	7.596	11.908	20.078	55.238
Custo total	38.069	58.118	36.895	51.147	8.948.523
Receita com subprodutos (FOB)**	0	8.506	10.580	8.257	9.309.112
Frete dos subprodutos vendidos***	0	8.286	5.816	766	1.038.676
Resultado	-38.069	-57.899	-32.131	-43.657	-678.087

Fonte: elaborado pelos autores, conforme metodologia.

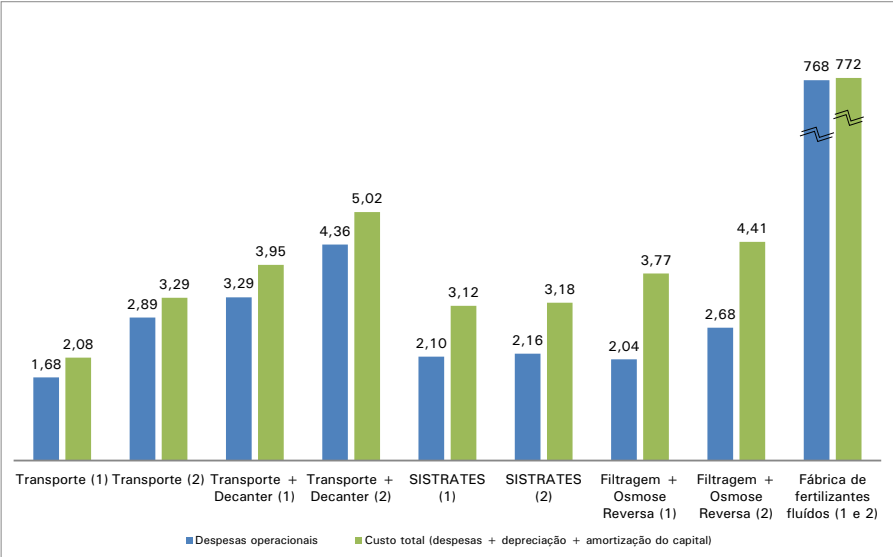
** O volume e as características dos subprodutos estão na Figura 3 e Tabela 4.

*** Considerou-se a distância de 35 km, somente ida, para a venda de adubo orgânico e fosfato de cálcio, e de 100 km para o fertilizante fluido.



Fonte: elaborado pelos autores, conforme metodologia.

Figura 8. Composição dos custos das alternativas tecnológicas consideradas para os Cenários 1 e 2 (% dos custos totais)



Fonte: elaborado pelos autores, conforme metodologia.

Obs.: o gráfico da alternativa fábrica de fertilizantes fluidos está fora da escala para facilitar a visualização.

Figura 9. Despesas operacionais e custo total das alternativas tecnológicas consideradas para os Cenários 1 e 2 (R\$/m³ de efluente)

Tabela 12. Valor presente líquido (VPL) das alternativas tecnológicas (R\$ mil)¹⁵

Cenário	Receita	Transporte		Filtragem		Fábrica de fertilizantes fluidos
	com subprodutos	Transporte	+ Sistrates	+ Osmose Reversa		
			Decanter			
Investimento necessário		357	585	918	1.547	4.256
Cenário 1	Não	-1.841	-3.504	-2.754	-3.311	
	Sim		-3.487	-2.387	-2.733	-52.087
Cenário 2	Não	-2.920	-4.456	-2.808	-3.882	
	Sim		-4.439	-2.440	-3.304	-52.087

Fonte: elaborado pelos autores, conforme metodologia.

15 Taxa de desconto de 0,797% ao mês, vida útil do projeto de 120 meses e valor residual do investimento de 10%.

O Sistrates apresenta custos de tratamento inferiores à opção de osmose reversa nos dois cenários analisados (Tabelas 10 e 11 e Figuras 8 e 9), bem como menor impacto negativo no valor a ser gerado pela usina central de biogás (Tabela 12)¹⁶.

Em relação à linha de base, o Sistrates tem o menor custo do Cenário 2, de aproximadamente 3,18 R\$/m³ de efluente (Tabela 11 e Figura 9), bem como menor impacto negativo no valor a ser gerado pela usina central de biogás, de aproximadamente R\$ 2,8 milhões em 10 anos sem a obtenção de receitas com a venda de subprodutos, e de R\$ 2,4 milhões com a obtenção de receitas (Tabela 12). A receita que pode ser obtida com a venda de subprodutos (fosfato de cálcio e adubo orgânico) altera pouco o desempenho destas alternativas, sobretudo no caso do Sistrates.

É importante salientar que em todas as opções, exceto no Sistrates, ocorre um impacto significativo da elevação do valor do frete de remoção dos efluentes nos custos totais (Cenário 1 x Cenário 2). Na Tabela 13, apresenta-se uma estimativa do custo líquido de transporte dos efluentes (custo – benefício econômico) que torna economicamente viável a adoção de alternativas de tratamento. O Sistrates é a alternativa mais próxima, sendo a opção mais vantajosa quando o valor líquido do transporte (custo – benefício econômico) for superior a um valor entre 2,14 e 2,58 R\$/m³ de efluente, um acréscimo de 43 a 72% nos valores observados junto a um grande produtor da região Sul (linha de base do Cenário 1).

16 Essa condição se mantém mesmo quando se considera tarifas de energia elétrica praticadas no mercado (R\$/MWh 264) em vez do custo de venda da energia utilizado neste estudo (estimado em R\$/MWh 140).

Tabela 13. Estimativa do custo líquido de transporte dos efluentes que torna economicamente viável a adoção de alternativas de tratamento

Alternativa	Sem receita da venda de subprodutos		Com receita da venda de subprodutos	
	R\$/m³	Δ% sobre linha de base	R\$/m³	Δ% sobre linha de base
N.º 2 - Transporte + Decanter	17,33	1.055	17,17	1.044
N.º 3 - Sistrates	2,58	72	2,14	43
N.º 4 - Osmose Reversa	5,00	233	3,62	142

Fonte: elaborado pelos autores, conforme metodologia.

Obs.: as alternativas citadas tornam-se mais atraentes que a linha de base se o transporte custar mais do que especificado na tabela.

Alternativa n.º 5: fábrica de fertilizantes fluidos

A alternativa que requer o maior investimento é a de implantação de uma fábrica de fertilizantes fluidos, no valor total de R\$ 4,3 milhões, com capacidade de produzir 240 mil t/ano. Esta opção inclui instalações e equipamentos da fábrica no valor de R\$ 3,7 milhões e, também, a construção de uma lagoa de armazenagem dos efluentes de 46,3 mil m³, para um período de 120 dias, devido à sazonalidade da demanda por fertilizantes, no valor de R\$ 536 mil¹⁷.

Deve-se considerar que esta não é propriamente uma alternativa, mas um novo negócio, no segmento de fertilizantes, que pode ser localizado junto a usinas centrais de biogás para utilizar o seu efluente em substituição à água limpa nos processos industriais¹⁸. Por isso, os custos da fábrica de fertilizantes fluidos não são comparáveis às demais alternativas. Os insumos químicos para a fabricação de fertilizantes fluidos (MAP, Ureia e KCl) representam 99% dos custos de fabricação (Tabelas 10 e 11 e Figuras 8 e 9). Quando se considera o custo posto no produtor rural, ainda representam 89% dos custos.

17 Considerou-se o investimento em uma fábrica com automação, no valor de R\$ 600 mil. É possível realizar o investimento sem automação, no valor total de R\$ 3 milhões, o que requer um acréscimo de 29% na mão de obra.

18 Utiliza entre 565 e 647 L de água (ou efluente) para produzir uma tonelada de fertilizante fluido, dependendo da formulação.

Esta opção é extremamente sensível às despesas com frete dos produtos vendidos. Por não ter frete retorno (transporte especializado), é cobrado ida e volta, ao contrário do fertilizante sólido. Além disso, é um produto que se destina a agricultores com área superior a 50 ha (Cozzo, 2012).

Estes limitantes tornam a opção da fábrica de fertilizantes líquidos também dependente da área de lavouras no entorno da usina.

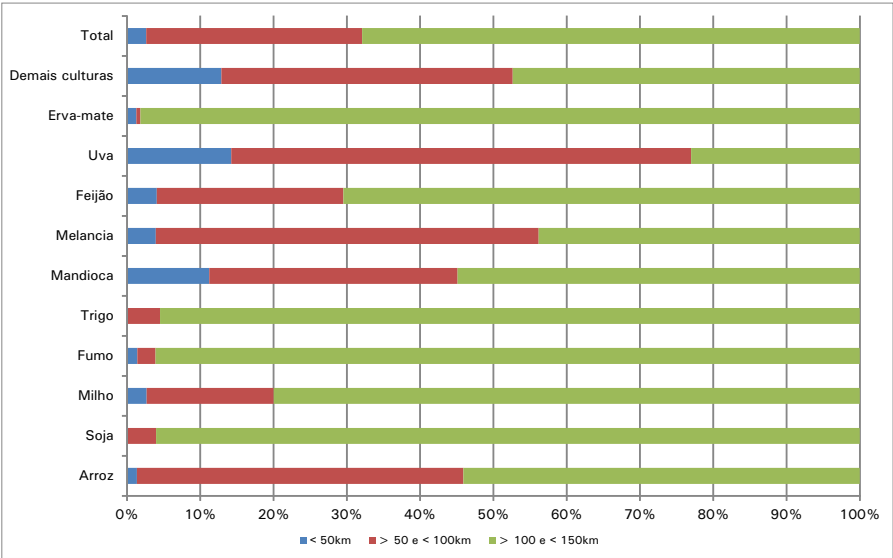
Considerando a formulação que utiliza a maior quantidade de efluente¹⁹, será necessário produzir 215 mil t anuais, o que demanda uma área de 537 mil ha de lavouras em estabelecimentos com mais de 50 ha. Para que o empreendimento tenha viabilidade, esta área deve estar a uma distância de até 50 km, ou 100 km ida e volta (Cozzo, 2012), o que não se verifica na região de Tupandi, que dispõe menos de 1% desta área em estabelecimentos com mais de 50 ha em um raio de até 50 km da usina (Tabela 14 e Figura 10).

Tabela 14. Área plantada (ha) das principais culturas, segundo distância até o município de Tupandi (RS), em estabelecimentos com mais de 50 ha de área total, 2010

Cultura	≤50 km	> 50 e ≤100 km	> 100 e ≤150 km	Total
Arroz	720	23.661	28.747	53.128
Milho	720	4.669	21.541	26.930
Uva	374	1.650	605	2.629
Mandioca	369	1.115	1.805	3.289
Melancia	128	1.706	1.431	3.265
Fumo	103	181	7.029	7.313
Feijão	49	309	856	1.214
Erva-mate	3	1	258	262
Soja	0	675	16.355	17.030
Trigo	0	122	2.586	2.708
Demais culturas	767	2.368	2.821	5.955
Total	3.233	36.457	84.034	123.725

Fonte: elaborado pelos autores a partir da Pesquisa Agrícola Municipal – PAM (IBGE, 2012a) e do Censo Agropecuário 2006 (IBGE, 2006).

19 A formulação 00-10-10 requer 647 L de efluente para cada tonelada de fertilizante produzido.



Fonte: elaborado pelos autores a partir da Pesquisa Agrícola Municipal – PAM (IBGE, 2012a) e do Censo Agropecuário 2006 (IBGE, 2006)

Figura 10. Distribuição (%) da área plantada das principais culturas, segundo distância até o município de Tupandi (RS), em estabelecimentos com mais de 50 ha, 2010

A logística desfavorável de Tupandi e a baixa disponibilidade de áreas agrícolas impactam diretamente no retorno esperado de uma fábrica de fertilizantes fluidos, não apresentando as condições ideais para esta opção (Cozzo, 2012). Esta conclusão se mantém mesmo na situação na qual ocorra um repasse de recursos da usina central de biogás para a fábrica de fertilizantes equivalente às despesas com transporte dos efluentes (subsídio de um projeto para o outro).

Análise qualitativa

No Quadro 1, a seguir, são apresentados os benefícios, vantagens, desvantagens e riscos das alternativas tecnológicas analisadas.

Quadro 1. Benefícios, vantagens, desvantagens e riscos das alternativas analisadas

Alternativa	Benefícios e subprodutos	Vantagens	Desvantagens	Riscos
Transporte	- Biofertilizante	-Facilidade de operação -Flexibilidade -Baixo custo para pequenas distâncias	-Emissão de GEE -Necessidade de área -Alto custo para maiores distâncias -Desperdício do valor fertilizante pela forma de aplicação no solo	-Aumento das distâncias e do custo de transporte -Alta volatilidade do valor fertilizante -Poluição dos recursos hídricos com a aplicação dos efluentes em excesso nas áreas próximas à usina -Risco sanitário
Sustratos	-Reduz emissões de GEE -Reuso da água ou lançamento em corpos receptores -Insumo para fertilizantes e rações (fosfato de cálcio)	-Eficiência na remoção de nutrientes -Reduz a área necessária e custos de transporte	-Alto investimento e custo operacional -Consumo de energia elétrica e insumos químicos -Reduz disponibilidade de N e K para a agricultura	-Tecnologia em fase de validação -Aumento do custo da energia elétrica -Redução do preço do fosfato
Osmose reversa	-Reduz emissões de GEE -Reuso da água ou lançamento em corpos receptores -Adubo orgânico (pode acessar mercado de valor agregado)	-Reduz em 47% volume do efluente a ser transportado -Reduz área necessária -A fração tratada disponibiliza água limpa (potável)	-Alto investimento e custo operacional -Consumo de energia elétrica e insumos químicos -Não trata a totalidade do efluente da usina de biogás (62%) -Uso limitado com efluentes de outras criações -Equipamento importado	-Aumento das distâncias e do custo de transporte -Alta volatilidade do valor fertilizante -Poluição dos recursos hídricos com a aplicação dos efluentes em excesso nas áreas próximas à usina -Aumento do custo da energia elétrica -Volatilidade da taxa de câmbio
Fábrica de fertilizantes	-Fertilizante fluido (mercado de grãos e reflorestamento)	-Agrega valor ao efluente -Viabiliza transporte a maiores distâncias (até \pm 50 km)	-Alto investimento e custo operacional -Consumo de insumos químicos e energia elétrica -Voltado para atender produtores com > 50 ha, com maquinário específico para aplicação no solo -Necessidade de armazenagem do efluente (fluxo contínuo x safra)	-Variações mercadológicas comprometem o destino dos efluentes e a viabilidade da usina -Aumento das distâncias e do custo de transporte -Alta volatilidade do valor fertilizante

Legislação ambiental, repartição de custos e corresponsabilidade

Tendo em vista as diferenças de escala, deve-se considerar que a postura dos órgãos ambientais em relação a usinas centrais de biogás será pautada por maior cautela e um grau de exigência (liberação, fiscalização e monitoramento, padrão tecnológico etc.) significativamente mais restritivo quando comparada a pequenos e médios suinocultores dispersos geograficamente.

Como apontado anteriormente, a opção predominante de manejo dos dejetos da suinocultura no Brasil é o seu transporte para posterior aplicação nas lavouras como biofertilizante. Este custo é arcado pelos suinocultores, não havendo a corresponsabilidade dos demais elos da cadeia produtiva (sobretudo das agroindústrias), sendo que em muitas regiões produtoras há um significativo aporte de recursos públicos para subsidiar o transporte de dejetos (SANDI et. al.; 2011; 2012)²⁰. Entende-se que a entrada de novos setores no segmento de biogás, como é o caso do energético, deva ser pautada pela internalização dos custos envolvidos no transporte ou no tratamento dos efluentes.

A proposta original de divisão de tarefas no projeto em Tupandi não resolve esse problema. Ao contrário, eleva os impactos no orçamento municipal. Em levantamento feito em Tupandi, o subsídio chegou a 74,6% do custo de distribuição dos dejetos em granjas que necessitavam transportar a distâncias maiores que 8 km (SANDI et. al.; 2012), representando uma despesa anual para o orçamento municipal de R\$ 111 mil (TUPANDI, 2012).

20 Além disso, representam um foco permanente de tensões, como dificuldades de atender à demanda, pressões políticas para priorização dos beneficiários e impacto no orçamento dos pequenos municípios (MIRANDA, 2005).

O incentivo público à implantação de usinas centrais de biogás deve considerar que não é possível viabilizar novas formas de gerar valor sobre a suinocultura (da carne para a energia e o fertilizante) sem reservar parcela deste valor agregado ao correto manejo dos efluentes, de preferência que considere a redução das emissões de GEE e da pressão sobre os recursos hídricos. O próprio quadro regulatório de leilões para a compra de energia de fontes renováveis deveria considerar estas questões. Nesse sentido, o escopo do projeto deve ser ampliado para incluir o transporte ou tratamento dos efluentes (A e B na Figura 2).

Do ponto de vista do estabelecimento agropecuário, é importante reforçar que o produtor incorrerá em custos para participar do projeto, sobretudo de mão de obra e em investimentos para reduzir o volume de água nos dejetos e o tempo de permanência destes nas instalações (RAMME, 2011). Iniciativas desta natureza, tomadas no estabelecimento agropecuário e que afetam os recursos do produtor, não só aumentam a eficiência da usina na geração de biogás como também reduzem os custos de transporte ou tratamento dos efluentes. Para que isso ocorra, deverão ser estabelecidos ou explicitados incentivos, seja por meio de remuneração financeira, seja pela possibilidade de aumento do rebanho mediante análise técnica caso a caso. Entende-se que seria altamente salutar o desenvolvimento de um arranjo contratual, semelhante à integração da produção com as agroindústrias, que determine padrões e volumes de entrega e, principalmente, que determine vantagens econômicas para o suinocultor a partir de parâmetros de qualidade do dejetos fornecido (sobretudo em termos de sólidos voláteis e matéria seca).

Considerações finais e os dilemas do projeto

A opção por substituir pequenos biodigestores de lagoa coberta, dispersos geograficamente pelas propriedades rurais, por usinas centrais de biogás permite expressivos ganhos de eficiência técnica²¹. Entretanto, esta opção representa um aumento nos custos com transporte e, sobretudo, nos riscos de poluição dos recursos hídricos, tendo em vista as limitações da fiscalização e o incentivo econômico para que os efluentes sejam aplicados em excesso nas áreas próximas à usina.

Em relação às alternativas analisadas para o correto manejo e disposição final dos efluentes de uma usina central de biogás, há também dilemas a serem considerados. A alternativa de transporte e a sua variante, o uso de decanter para separação do lodo, disponibilizam para o setor agrícola os nutrientes contidos nos dejetos da suinocultura²², reduzindo custos com insumos químicos e, em última análise, reduzindo a dependência do país na importação de fertilizantes. Por outro lado, esta opção contribui para as emissões de GEE (CESTESB, 2002; BRASIL, 2011;), seja por meio das emissões no transporte (CO_2) (MIELE et. al., 2012), seja por meio das emissões oriundas do uso de dejetos aplicados no solo (N_2O), reduzindo o impacto esperado de projetos desta natureza no âmbito do aquecimento global. Além disso, como apontado acima, aumentam o risco de poluição dos recursos hídricos.

21 Cantrell (2008).

22 Em muitos casos, o aproveitamento pleno dos nutrientes é prejudicado devido à forma de aplicação dos efluentes no solo (perda de amônia, lixiviação e percolação) e a não observância das recomendações agrônômicas de adubação.

As opções de tratamento reduzem o potencial poluidor da suinocultura e de usinas centrais de biogás nos recursos hídricos, bem como a emissão de GEE (KUNZ, 2006; BORTOLI et. al., 2012). Por outro lado, também reduzem o excedente de energia elétrica a ser gerada e não devolvem ao setor agrícola os nutrientes contidos nos dejetos (exceto o adubo orgânico e o fosfato de cálcio).

O uso conjugado de usinas centrais de biogás com fábricas de fertilizantes fluidos pode ser uma alternativa para o aproveitamento dos nutrientes contidos nos dejetos sem impactar nos recursos hídricos. Como o efluente passa a compor um produto a ser vendido (fertilizante fluido), ou seja, há um preço a ser pago pelo agricultor, não há incentivo econômico para aplicar em excesso, em desacordo às recomendações agrônômicas, como é o caso do efluente líquido transportado. Por outro lado, a fábrica de fertilizantes consome energia elétrica e gera emissões de GEE com o transporte (CESTESB, 2002; BRASIL, 2011). Outra limitação desta alternativa é o seu raio máximo de atuação, de até 50 km. Desta forma, mesmo em regiões com baixa relação rebanho/área há um limite de escala de produção de fertilizantes, o que limita a escala da usina central de biogás para metade ou um terço do tamanho proposto no projeto.

Outro risco que deve ser considerado, que perpassa todas as alternativas, refere-se ao risco sanitário. As restrições sanitárias devem ser avaliadas e discutidas com os múltiplos atores do processo, considerando-se que o gerenciamento do risco associado à logística do transporte dos efluentes ou às tecnologias alternativas deve permanecer dentro do nível de segurança. De qualquer forma, é recomendável envolver órgãos de defesa e controle agropecuário bem como as agroindústrias antes da implantação de projetos desta natureza.

Neste estudo foram apresentados e discutidos dados quantitativos e questões qualitativas para prospectar a viabilidade técnica-econômica de diferentes rotas de tratamento dos efluentes para um projeto de implantação de uma usina de biogás no município de Tupandi no Rio Grande do Sul. O que se evidencia é que a viabilização da usina passa pela estratégia logística adotada e pela valoração dos efluentes. Mas, sobretudo, passa pelo dimensionamento da escala da usina central, que deve considerar a disponibilidade de áreas agricultáveis ou a adoção de tecnologias de tratamento.

A logística desfavorável de Tupandi e a baixa disponibilidade de áreas agrícolas limitam a escala da usina ou elevam os custos com o correto destino dos efluentes. Sob o enfoque do negócio de energia, isso afeta negativamente a rentabilidade e o VPL e suscita a mudança de localização do projeto para regiões mais propícias. Por outro lado, sob o enfoque da política pública local voltada ao desenvolvimento rural, é possível que as demandas e tensões ambientais na agropecuária exijam intervenções para lidar com os efluentes da produção animal, mesmo que estas tenham que operar com rentabilidade inferior àquela aceita pelo mercado.

Por fim, deve-se considerar que o segmento de biogás tem se caracterizado por uma acelerada e crescente incorporação de inovações, as quais tendem a aumentar a eficiência ou reduzir os custos operacionais e de investimentos das alternativas tecnológicas analisadas. Estas inovações também devem ampliar o leque de opções disponíveis, como é o caso do uso do biogás como combustível no transporte de efluentes em substituição ao óleo diesel, ou o desenvolvimento de sistemas biológicos para o tratamento do efluente de biodigestores. Em ambos os casos, pode-se esperar significativas implicações para os resultados deste estudo.

Referências bibliográficas

ANP. **Levantamento de Preços e de Margens de Comercialização de combustíveis**. Disponível em: <<http://www.http://anp.gov.br/>>. Acesso em: 20 maio 2012.

BLOCK, K. **Calculations of slurry attack in of the municipality Tupandi for planning a biogas plant**. [s.l.]: Agencia de Cooperação International Alemã, 2011. 26 p.

BLOCK, K. **Processes for digestat treatment used in Europe and adaption to Tupandi**. [S.l.]: GIZ, 2012a. 20 slides, Power Point.

BLOCK, K. **Technical possibilities of reverse osmosis and estimation of treatment costs, reduction of amount of mass to be transported and Comparison of the reverse osmosis process with a wastewater treatment plant**. [S.l.]: GIZ, 2012b. 23 slides, Power Point.

BORTOLI, M.; KUNZ, A.; SOARES, H. M.; BELI FILHO, P.; COSTA, R. H. R. da. Emissão de óxido nitroso nos processos de remoção biológica de nitrogênio de efluentes. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 17 n. 1. Jan./mar. 2012.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Inventário brasileiro de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa: informações gerais e valores preliminares**. Brasília, DF, 2009. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0207/207624.pdf>. Acesso em: 19 set. 2011.

CARMICHAEL, W. W. Cyanobacteria secondary metabolites: the cyanotoxins. **Journal of Applied Bacteriology**. v. 72, p. 445–459, 1992.

CARVALHO, R. T. **Project Tupandi**. Florianópolis: Eletrobras/Eletrosul, 2011. 13 slides, Power Point.

CETESB. **Metodologia simplificada de cálculo das emissões de gases do efeito estufa de frotas de veículos no Brasil**. São Paulo, 2002. Acesso em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/>>. Acesso em: 20 set. 2011.

COZZO, R. **Estudo de viabilidade para implantação de fábrica de fertilizantes fluidos em Tupandi – RS**. [S.l.]: Riolando Cozzo, 2012. 26 slides, Power Point.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from waste and renewable resources**. 2. ed. Weinheim: WILEY-VCH, 2011. 539 p.

EPAGRI/CEPA. Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola. **Preços agrícolas: safra 2012**. Disponível em: <<http://cepa.epagri.sc.gov.br/>>. Acesso em: 20 mai. 2012.

GALERIA de fotos. Fotos do município. Tupandi. Prefeitura Municipal, 2013. 8 fotografias, color. Disponível em: <<http://www.tupandi.rs.cnm.org.br/portal1/municipio/galeria.asp?ildMun=100143439&ildGaleria=7479&pgGaleria=1>>. Acesso em 6 ago. 2013.

GALESNE, A., FENSTERSEIFER, J. E., LAMB, R. **Decisões de investimentos da empresa**. São Paulo: Atlas, 1999. 295 p.

HIGARASHI, M. H. **Compostagem de dejetos de suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2012. 24 slides, Power Point.

IBGE. **Censo Agropecuário 2006**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 6 ago. 2013.

IBGE. **Cidades@**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 7 ago. 2013.

IBGE. **Mapa exploratório de solos do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 6 ago. 2012.

IBGE. **Pesquisa Agrícola Municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012a. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br> >. Acesso em 4 jun. 2012.

IBGE. **Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009**. Perfil das despesas no Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. 222 p.

IBGE. **Pesquisa Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012b. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br> >. Acesso em 4 jun. 2012.

INMET. Dados meteorológicos da rede de estações automáticas, 2012. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas> >. Acesso em 4 jun. 2012.

IPEA. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**: diagnóstico dos resíduos urbanos, agrosilvopastoris e a questão dos catadores. Brasília, DF: Ipea, 2012. 15 p. (Comunicados do Ipea, 145). Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/> . Acesso em 4 jun. 2012.

KUNZ, A. Sistemas compactos de tratamento. Suinocultura Industrial. Itu, v. 6, p. 12-13, 2006.

KUNZ, A.; MIELE, M.; STEINMETZ, R. L. R. Advanced swine manure treatment and utilization in Brazil. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 22, p. 5485-5489, 2009.

MANUAL de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10 ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul - Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004. 400 p.

MAYERLE, S. F. **Logística de armazenamento e transporte dos dejetos em Tupandi**. Florianópolis: UFSC/CTC/EP, 2011. 27 slides, Power Point.

MIELE, M.; SANDI, A. J.; KUNZ, A.; HENN, J. D. Cenários futuros da infraestrutura de transporte e seus impactos na competitividade das exportações de carne suína e nas suas emissões de gases de efeito estufa. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2012. 16 p. (Embrapa Suínos e Aves. Comunicado Técnico, 505).

MIRANDA, C. R. de. **Avaliação de estratégias para sustentabilidade da suinocultura**. 264 f. 2005. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

NICOLOSO, R. S.; CORRÊA, J. C. **Viabilidade técnica e econômica do biofertilizante**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2012. 37 slides, Power Point.

OLIVEIRA, P. A. V. de (Coord.). **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1993. 188 p. (EMBRAPA-CNPSA. Documentos, 27).

RAMME, M. A. **Gestão da água na pecuária Tupandi/RS**. Concórdia: Ecodata, 2011. 58 p.

SANDI, A. J.; SANTOS FILHO, J. I. dos; MIELE, M.; MARTINS, F. M. Levantamento do custo de transporte e distribuição de dejetos de suínos: um estudo de caso das associações de produtores dos municípios do Alto Uruguai Catarinense. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 48., 2011, Belém. **Anais...** Belém: UFRA, 2011. 1 CD-ROM.

SANDI, A. J.; SANTOS FILHO, J. I. DOS; MIELE, M.; MARTINS, F. M. Levantamento do custo de transporte e distribuição de dejetos de suínos na região Oeste do estado do Paraná e no município de Tupandi no Rio Grande do Sul. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 49, 2012, Brasília, DF.

TUPANDI. Organização e operação do transporte e pós-tratamento dos efluentes finais – prefeitura ou cooperativa. Tupandi: Prefeitura Municipal de Tupandi, 2012. 17 slides, Power Point.



Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

